

PENENTUAN RASIO PANAS JENIS (C_p/C_v) UNTUK GAS N_2 DAN H_2

Determination Of Specific Heat Capacity Ratio (C_v/C_p) of Gas N_2 And H_2

Wiludjeng Trisasiwi¹, Dyah Wulandani¹, Kamaruddin Abdullah² dan
Armansyah H. Tambunan²

ABSTRACT

The ratio of specific heat capacity, at constant pressure to that at constant volume (c_p/c_v), of a gas can be determined by either the adiabatic expansion method or the sound velocity method. The objective of this experiment is apply the adiabatic expansion method for determining the specific heat capacity ratio of gas N_2 and O_2 . The result showed that the ratio were 1.14 and 1.19 respectively for gas N_2 and O_2 . The value obtained by the experiment was different about 15 to 19% from the result determined by theoretical method using 5 degree of freedom. Theoretically c_p/c_v of both gas N_2 and O_2 which have 5 degree of freedom are 1.4. The difference was considered to be caused by the experimental condition, which were not sufficiently adiabatic, as required by the method. However, the simplicity of the method and clarity of its theoretical approach is advantageous to be used by students of Advance Thermodynamic class as a practical exercise.

Keywords : specific heat capacity ratio (C_p/C_v), adiabatic expansion method

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dari prinsip-prinsip termodinamika secara umum bisa diturunkan hubungan antar kuantitas misalnya koefisien ekspansi, kompresibilitas, panas jenis, transformasi panas dan koefisien dielektrik, terutama sifat-sifat yang dipengaruhi temperatur.

Panas jenis gas dapat dihitung dengan menggunakan teori kinetik berbasis pada model molekuler. Penentuan dengan metode kecepatan suara telah menunjukkan hasil yang

sama dengan teori. Pada penelitian ini ingin dibuktikan bahwa dengan metode ekspansi adiabatik, dapat pula digunakan untuk menentukan rasio panas jenis.

Penelitian mengenai panas jenis gas belum banyak dilakukan, karena keterbatasan alat. Dengan metode ekspansi adiabatik menggunakan peralatan yang sederhana dan beberapa penyempurnaan diharapkan dapat digunakan sebagai instrumen ukur rasio panas jenis gas yang baik.

¹ Mahasiswa Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor

² Staf Pengajar, Jurusan TEP, FATETA Institut Pertanian Bogor

Tujuan Percobaan

Tujuan percobaan adalah untuk menentukan rasio panas jenis gas N_2 dan gas O_2 dengan menggunakan metode ekspansi adiabatik.

PENDEKATAN TEORITIK

Rasio Panas jenis

Panas jenis suatu bahan didefinisikan sebagai perbandingan panas (Q) yang ditambahkan terhadap kenaikan suhu (Δt) (Mohsenin, 1980). Rasio panas jenis pada tekanan tetap terhadap panas jenis pada volume tetap suatu gas (c_p/c_v) bisa ditentukan dengan metode ekspansi adiabatik atau dengan metode kecepatan suara di dalam gas. Panas jenis gas ini sangat ditentukan oleh derajat bebas molekul yang sangat bervariasi. Hasil perhitungan c_p/c_v dari berbagai jenis gas berguna dalam penentuan panas spesifik gas.

Dalam menghitung panas jenis secara teoritis, diasumsikan bahwa gas merupakan gas ideal. Untuk gas ideal ini berlaku :

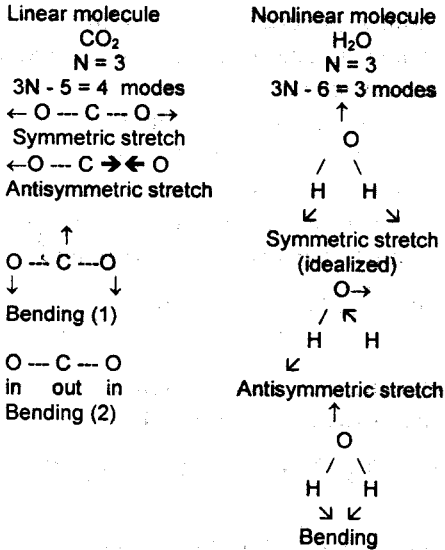
$$\tilde{C} = \tilde{C}_v + R \quad \text{.....(1)}$$

dimana \tilde{C}_p dan \tilde{C}_v masing-masing adalah kuantitas molar untuk C_p/n dan C_v/n .

Jumlah derajat bebas adalah jumlah koordinat bebas yang diperlukan untuk menentukan posisi dan konfigurasi suatu molekul. Karena itu suatu molekul yang terdiri dari N atom mempunyai $3N$ derajat bebas. Ini bisa diambil sebagai tiga koordinat Cartesius dari N atom tunggal. Penentuan derajat bebas dapat dilakukan berdasarkan kelompok sebagai berikut :

1. Derajat bebas translasional. Tiga koordinat bebas yang diperlukan untuk menentukan posisi pusat massa sebuah molekul.
2. Derajat bebas rotasional. Semua molekul yang terdiri lebih dari satu atom memerlukan suatu spesifikasi dari orientasinya dalam ruangan. Suatu molekul bukanlah suatu titik geometrik, tetapi mempunyai ukuran tertentu, yang mempunyai momen inertiya dan massa. Dengan demikian, mempunyai energi kinetik rotasi maupun translasi. Rotasi molekul dapat diharapkan terjadi karena tumbukan acak dengan molekul lain dan dinding. Melalui pusat massa yang terletak pada sumbu penghubung kedua atom, rotasi bebas bisa terjadi disekitar dua sumbu lain yang saling tegak lurus (sumbu penghubung itu sendiri bukan merupakan sumbu ketiga rotasi, karena berdasarkan teori kuantum, momen inersia pada sumbu ini tidak cukup besar). Sehingga, rotasi molekul diatomik atau suatu molekul linier bisa dinyatakan dengan dua derajat bebas rotasi. Untuk molekul bukan linier dimana sumbu ketiga merupakan sebuah momen inersia yang cukup besar dan merupakan sumbu rotasi yang lain, memerlukan tiga derajat bebas rotasi.
3. Derajat bebas vibrasional. Hal lain yang juga harus diperhitungkan adalah penyimpangan atom-atom dari posisi keseimbangannya (vibrasi). Jumlah derajat bebas vibrasi adalah $3N - 5$ untuk molekul linier dan $3N - 6$ untuk molekul tak-linier. Hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa jumlah derajat bebas adalah $3N$. Untuk setiap derajat bebas vibrasi

terdapat suatu "normal mode", dengan karakteristik sifat-sifat simetri dan karakteristik frekuensi harmoni, seperti ditunjukkan pada Gambar 1 untuk CO_2 dan H_2O .



Gambar 1. Skema diagram vibrasi cara biasa untuk molekul linier CO_2 dan molekul bukan linier (*bent molecule*) H_2O .

Dengan menggunakan teori mekanika statistik klasik dapat diturunkan teori "ekuipartisi" energi, yang menyatakan bahwa $kT/2$ energi berhubungan dengan energi yang dinyatakan dalam bentuk kuadratik. Misalnya, energi kinetik translasi berhubungan dengan fungsi kuadratik kecepatan ($\frac{1}{2}mv^2$), dan energi kinetik rotasi berhubungan dengan fungsi kuadratik kecepatan angular ($\frac{1}{2}I\omega^2$). Masing-masing komponen tersebut, dalam hal ini diasosiasikan sebagai tiap derajat bebas, memberikan kontribusi $kT/2$ terhadap energi kinetik, dan untuk tiap derajat bebas vibrasi memberikan kontribusi $kT/2$ terhadap energi

potensial. (pada gas dinyatakan dalam $RT/2$).

Jelas bahwa suatu gas atom tunggal (*monoatomik*) tidak mempunyai energi rotasi atau vibrasi, tetapi tiap mol mempunyai sebuah energi translasi sebesar $3/2RT$. Panas jenis sebuah molekul atom tunggal suatu gas ideal pada volume konstan adalah :

$$\tilde{C}_v = \left(\frac{\partial \tilde{E}}{\partial T} \right)_v = \frac{3}{2} R \dots\dots\dots (2)$$

Sedangkan untuk molekul atom ganda (*diatomic*) atau atom jamak (*polyatomic*), adalah:

$$\tilde{E} = \tilde{E}(trans) + \tilde{E}(rot) + \tilde{E}(vib) \dots (3)$$

Pada persamaan (3) kontribusi terhadap energi dari status elektroniknya, serta energi antar-molekul yang terjadi pada gas tak-sempurna, diabaikan karena sangat kecil pada suhu kamar.

Meskipun teori ekuipartisi didasarkan pada mekanika klasik, aplikasinya terhadap gerakan translasi dan rotasi pada suhu normal, masih sesuai dengan teori mekanika kuantum. Penyimpangan terbesar dari hasil mekanika klasik adalah pada kasus hidrogen H_2 , dimana pada suhu di bawah 100 K energi rotasi H_2 lebih rendah dari nilai ekuipartisi sebagaimana diprediksi oleh mekanika kuantum.

Energi vibrasi dapat dihitung dan sangat tergantung pada suhu. Berbagai mode vibrasi hanya sebagian yang aktif pada suhu normal dan derajat keaktifannya sangat tergantung pada suhu. Sebagai patokan umum, semakin berat atom, atau semakin kecil konstanta gaya ikatan (yaitu semakin rendah frekuensi vibrasi), maka derajat bebas tertentu semakin aktif pada suhu tertentu, dan semakin besar kontribusinya terhadap panas jenis. Selanjutnya,

hanya desakan keluar leher bejana dan jika perlakuannya memerlukan sebuah sistem tertutup dari tekanan dalam dan suhu yang konstan. Dalam kasus tertentu, asumsi pengganti menghasilkan persamaan akhir berikut :

$$\gamma = \frac{p_1/p_2 - 1}{p_1/p_3 - 1} \dots\dots\dots(16)$$

dimana :

p_1 = tekanan awal gas di dalam bejana pada saat suhu telah merata

p_2 = tekanan gas di dalam bejana pada saat tutup karet dibuka

p_3 = tekanan gas di dalam bejana setelah tutup karet ditutup kembali dan suhu telah kembali seperti saat pengukuran p_1

Pembilang dan penyebut dalam persamaan ini mempunyai hubungan yang penting dalam ekspansi rangkaian tenaga dari logaritma pembilang dan penyebut persamaan (15). Pada kondisi percobaan, perbedaan nilai γ antara persamaan (15) dan persamaan (16) hanya sekitar dua persen.

Percobaan kemungkinan memberikan hasil yang rendah (p_3 rendah dan rasio \tilde{C}_p/\tilde{C}_v yang rendah pula) jika ekspansi gas tidak dapat balik, atau hasil yang rendah pula jika pembukaan dan penutupan tutup karet terlalu lama sehingga prosesnya tidak adiabatik lagi, atau hasil yang tinggi bila pembukaan tutup karet tidak cukup lama untuk menurunkan tekanan sehingga sama dengan atmosfer. Juga tidak akan terjadi proses tidak dapat balik jika selama ekspansi tidak ada penurunan tekanan yang cukup dari gas yang berada di bawah permukaan khayal sebagaimana yang telah disebutkan sebelumnya, dan penurunan tekanan juga tidak bisa diharapkan terjadi jika

leher bejana jauh lebih kecil dari pada luas efektif permukaan khayal. Dengan bejana volume 18 liter dan tekanan p_1 sekitar 50 N/m² di atas 1 atm, volume udara yang ditekan keluar adalah sekitar 1 liter, yang mana akan menyediakan suatu permukaan yang cukup luas untuk memenuhi kondisi ini jika diameter leher bejana tidak lebih dari 2 atau 3 cm. Pengaruh waktu yang lama pembukaan tutup karet menyulitkan perkiraan dalam perhitungan, beberapa ide bisa diperoleh dari lamanya bunyi yang dihasilkan ketika tutup karet dibuka dan dari laju kenaikan manometer yang terbaca segera setelah tutup karet dipasang kembali. Untuk tujuan percobaan, kita harus mengasumsikan bahwa jika tutup karet dibuka penuh pada jarak 2 atau 3 inci dari bejana dan dipasang kembali secepat mungkin, maka kondisi percobaan yang diinginkan hampir terpenuhi.

METODOLOGI PERCOBAAN

Waktu Dan Tempat

Percobaan penentuan rasio panas jenis gas N_2 dan gas O_2 ini dilaksanakan pada bulan Desember 1996 sampai bulan Januari 1997, di laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian, Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Bahan Dan Alat

Bahan yang dipergunakan adalah : Gas N_2 , Gas O_2 , dan air. Alat yang dipergunakan adalah:

1. Bejana kaca volume 18 liter
2. Ember plastik besar
3. Selang plastik
4. Kelem ulir 3 buah
5. Penutup bejana dari bahan karet

6. Manometer Hg (jenis pipa U terbuka ke atmosfer)
7. Regulator gas (penunjuk tekanan)
8. Thermocouple jenis CC (Copper-Constanta diameter 3 mm)
9. Digital Data Logger merk Yokogawa Type 3081
10. Pembeban bejana terbuat dari besi seberat 40 kg
11. Mistar

Prosedur Percobaan

Dalam percobaan penentuan rasio panas jenis ini peralatan dipasang seperti Gambar 2. Untuk menentukan rasio panas jenis gas N_2 dan gas O_2 digunakan Persamaan (16).

Persiapan:

- a). Bejana kaca dimasukkan ke dalam ember plastik.
- b) Ember plastik diisi air sampai setinggi leher bejana.
- c) Agar bejana kaca bisa tenggelam di dalam ember sehingga dasar bejana menyentuh dasar ember, maka pada permukaan ember diberi pembeban besi seberat 40 kg.
- d) Selang-selang plastik yang telah dipasang pada bejana (seperti Gambar 2) dihubungkan masing-masing a ke sumber gas, b ke atmosfer, dan c ke manometer.
- e) Semua kelem a , b dan c masih dalam keadaan tertutup.

Pelaksanaan percobaan

- a) Tutup karet dipasang pada bejana kaca rapat-rapat, kelem a dan b dibuka, kelem c masih tertutup.
- b) Gas yang akan diukur dimasukkan ke dalam bejana, setelah diperkirakan udara di dalam bejana terusir keluar semua melalui selang b , maka kelem b ditutup. Sekarang

bejana tinggal berisi gas yang akan diukur.

- c) Kelem a ditutup separo, kelem c dibuka, setelah manometer menunjukkan tekanan tertentu (tekanan yang dikehendaki), kelem a ditutup penuh. Kemudian ditunggu selama ± 15 menit supaya suhu merata. Tekanan pada manometer dicatat sebagai p_1 dan suhu sebagai T_1 .
- d) Tutup bejana dibuka secara tiba-tiba dan ditutup kembali secepat mungkin. Pada saat bejana terbuka sesaat, tekanan dicatat sebagai p_2 dan suhu sebagai T_2 .
- e) Ditunggu beberapa menit sampai suhu kembali ke T_1 , kemudian tekanan dicatat sebagai p_3 .

Dalam percobaan ini prosedur a) sampai e) diulang 4 kali untuk gas N_2 dan 3 kali untuk gas O_2 pada tekanan awal yang berbeda-beda.

Hasil dari percobaan ekspansi adiabatik gas digunakan untuk menghitung γ gas N_2 dan gas O_2 menggunakan persamaan (16). Hasil dari perhitungan γ ini selanjutnya dirata-rata dan dibandingkan dengan nilai γ secara teoritis dan hasil pengukuran peneliti terdahulu menggunakan metode kecepatan suara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Rasio Panas jenis Gas N_2

Hasil percobaan untuk gas N_2 ditampilkan pada Tabel 1. Tekanan yang diperoleh dari hasil percobaan adalah tekanan gauge, karena itu dalam perhitungan γ harus ditambahkan dengan tekanan atmosfer 762.86 mm Hg. Hasil perhitungan rasio panas jenis γ gas N_2 ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengukuran tekanan p_1 , p_2 dan p_3 serta suhu T_1 , T_2 dan T_3 untuk gas N_2 .

Perco- baan	p_1	p_2	p_3	T_1	T_2	T_3
I	32	20	4	26	25.5	26
II	102	76	80	26	26	26
III	156	76	82	26	24	26
IV	198	138	144	26	24	26

Tabel 2. Hasil perhitungan rasio panas jenis untuk gas N_2

Perco- baan	p_1	p_2	p_3	γ
I	794.86	762.86	766.86	1.15
II	864.86	838.86	842.86	1.19
III	918.86	838.86	844.86	1.09
IV	960.86	900.86	906.86	1.12
Rata- rata				1.14

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai γ gas N_2 rata-rata dari 4 kali pengukuran adalah 1.14. Nilai ini lebih kecil bila dibandingkan dengan nilai γ secara teoritis bahwa untuk gas dua atom dimana derajat bebas $f = 5$ maka :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\frac{f+2}{2} R}{\frac{f}{2} R} = \frac{\frac{7}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{3.5R}{2.5R}$$

Atau :

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{7R/2}{(7R/2) - R} \\ &= \frac{7 \times 1.3806 \times 10^{-23} \text{ J/K}}{2.09515 \times 10^{-22} \text{ J/K}} = 1.4 \end{aligned}$$

Demikian juga berdasarkan hasil percobaan menggunakan metode kecepatan suara di dalam gas diperoleh hasil γ untuk gas $N_2 = 1.40$ (Sears and Salinger, 1978).

Perbedaan nilai γ gas N_2 yang diperoleh dari percobaan dibandingkan dengan literatur adalah sebesar $1.4 - 1.14 = 0.26$ atau sekitar 19 %. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan karena pembukaan tutup bejana yang terlalu

lama sehingga prosesnya tidak adiabatik lagi. Beberapa kekurangan dari peralatan yang digunakan antara lain adalah pada saat pengeluaran udara dari dalam bejana yaitu bagian atas permukaan khayal, sulit dipastikan apakah udara benar-benar sudah habis terusir keluar semua atau masih ada yang tersisa dan bercampur dengan gas yang akan diukur, karena tidak ada alat untuk mendeteksinya. Jika ini terjadi maka gas yang diukur bukan gas murni lagi. Hal ini bisa terjadi bila pembukaan kelem b kurang lama. Sebaliknya bila pembukaan kelem b terlalu lama dimungkinkan sebagian gas N_2 ikut terusir keluar dari bejana.

Penentuan Rasio Panas jenis Gas O_2

Hasil dari percobaan untuk gas O_2 ditampilkan pada Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Hasil pengukuran tekanan dan suhu untuk gas O_2 .

Ula- ngan	p_1	p_2	p_3	T_1	T_2	T_3
I	68	18	27	26	26	26
II	146	82	90	26	26	26
III	194	94	108	26.5	25	26

Sebagaimana pada percobaan untuk gas N_2 , pada percobaan gas O_2 ini tekanan yang diperoleh dari hasil percobaan juga tekanan gauge, karena itu dalam perhitungan harus ditambahkan dengan tekanan atmosfer 762.86 mm Hg.

Hasil dari perhitungan rasio panas jenis γ untuk gas O_2 ditampilkan pada Tabel 4. Perbedaan nilai γ gas O_2 yang diperoleh dari percobaan dibandingkan dengan literatur adalah sebesar $1.4 - 1.19 = 0.21$ atau sekitar 15%. Perbedaan ini seperti pada percobaan untuk gas N_2 , kemungkinan juga disebabkan karena pembukaan tutup bejana yang

terlalu lama sehingga prosesnya tidak adiabatik lagi.

Tabel 4. Hasil perhitungan rasio panas jenis untuk gas O_2

Ula- ngan	P_1	P_2	P_3	γ
I	830.86	780.86	789.86	1.23
II	908.86	844.86	852.86	1.15
III	936.86	856.86	870.86	1.18
Rata- rata				1.19

KESIMPULAN

Hasil perhitungan rata-rata rasio panas jenis (γ) yang ditentukan dengan metode ekspansi adiabatik gas adalah :

Untuk gas N_2 , $\gamma = 1.14$

Untuk gas O_2 , $\gamma = 1.19$

Perhitungan secara teoritis γ untuk gas dua atom yang mempunyai 5 derajat bebas ($f = 5$) adalah sebesar :

$$\gamma = \frac{f+2}{f} = \frac{5+2}{5} = \frac{7}{5} = 1.4$$

Demikian juga berdasarkan hasil percobaan Sears and Salinger (1978), menggunakan metode kecepatan suara di dalam gas, γ untuk gas N_2 dan O_2 juga diperoleh sebesar 1.4.

Perbedaan nilai γ hasil percobaan ini yaitu sebesar 0.26 atau 19 % untuk gas N_2 dan 0.21 atau sekitar 15 % untuk

gas O_2 kemungkinan disebabkan karena pembukaan tutup bejana yang terlalu lama sehingga prosesnya tidak adiabatik lagi. Sebaliknya jika pembukaan tutup bejana kurang lama maka gas yang terukur bukan gas N_2 dan O_2 murni tetapi bercampur dengan udara yang masih tersisa di dalam bejana karena belum sempat terusir semua.

DAFTAR PUSTAKA

- Mohsenin, N.N., 1980. Thermal Properties of Food and Agricultural Materials. Gordon and Breach Science Publishers. New York.
- Sears, F.W. and G.L. Salinger. 1978. Thermodynamics, Kinetic Theory, and Statistical Thermodynamics, Third edition. Addison Wesley Publishing Company, Amsterdam.
- Shoemaker, D.P., C.W. Garland and J.W. Nibler. 1989. Experiments in Physical Chemistry. Fifth Edition. McGraw-Hill International Editions. New York.